УДК 681.3.06

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕГРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМ С ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ

М.А. Сонькин, Е.Е. Слядников, С.А. Русановский*

Томский научный центр СО РАН
E-mail: opi@hq.tsc.ru
*ФГУП НПЦ «Полюс», г. Томск

Предложена новая информационная технология интеграции компонентов многоуровневых систем с пакетной передачей данных. Проанализированы важнейшие свойства этой интеграции с точки зрения практического использования систем документированной связи, отображен характер информационных связей проблемно-ориентированных пакетов сообщений, особенности топологии сети связи, функциональная ориентация аппаратно-программных комплексов, а с другой стороны, показана взаимосвязь отдельных структурных компонентов интегрированных информационно-телекоммуникационных систем с пакетной передачей данных между собой. Разработан и согласован стандарт информационно-технологического сопряжения автономных измерительных комплексов с современными сетями сбора и передачи данных, программное обеспечение компонент технологии.

1. Введение

Развитие компьютерных технологий в области цифровых методов передачи данных предопределило возможность создания территориально-распределенных аппаратно-программных комплексов (АПК), обеспечивающих документированную пакетную передачу данных по проводным линиям, радиоканалу, спутниковой связи с широким спектром заданных функциональных возможностей [1, 2].

Среди проблем создания АПК выделяется актуальная проблема разработки и построения сквозной технологии – организация автоматизированного сбора информации от обслуживаемых и автоматических платформ сбора данных (ПСД) наземного и морского базирования и доведения ее до центров единой системы исследования мирового океана (ЕСИМО) [3]. Технология должна обеспечить сбор данных в различных режимах: по инициативе ПСД, по запросу из центра сбора данных (ЦСД), по запросу из центра ЕСИМО. Технология должна обеспечить возможность управления режимами работы и возможность удаленного тестирования отдельных узлов и компонент информационно-измерительного комплекса. В рамках сквозной технологии должен осуществляться многоуровневый мониторинг, обеспечивающий полноту и своевременность сбора данных, управление системой связи с объектами.

Подсистема сбора и накопления первичных данных ЕСИМО должна строиться на базе усовер-

шенствованной системы сбора и распространения информации Росгидромета с присоединением к ней систем других ведомств. Чаще всего в состав современного автоматического информационно-измерительного комплекса (ИИК), осуществляющего измерение параметров окружающей среды, входит контроллер на базе микропроцессора. Разработчики интеллектуальных ИИК, как правило, одновременно решают задачу передачи данных по линиям (каналам) связи в компьютер, выполняющий функции ЦСД от нескольких ИИК. В некоторых случаях обеспечивается дальнейшее автоматическое распространения принятой информации по сетям потребителей, в том числе по сети телесвязи Росгидромета. Существующие ЦСД не в полной мере отвечают требованиям системы сбора и доведения данных до центров ЕСИМО, так как не решают весь комплекс задач. Поэтому подсистему сбора и накопления первичных данных единой системы обработки метеоинформации целесообразно строить на базе сквозной технологии [3]. По оценкам экспертов и специалистов «ВНИИ гидрометеорологической информации – мировой центр данных» Росгидромета – полных аналогов данной продукции в России и странах СНГ нет, а зарубежные комплексные решения неприемлемы в данной отрасли [4].

Решение проблемы создания АПК начинается с разработки структуры и основных компонентов АПК и возникает задача комплексной интеграции компонентов многоуровневых систем с пакетной передачей данных.

2. Структура и модель АПК

Отличительная технологическая особенность рассматриваемого комплекса заключается в использовании для сбора, обработки, передачи данных, специализированных микропроцессорных пакетных контроллеров ВИП-М [5]. Сквозная технология сбора данных может опираться на следующие АПК:

- Гидрометеостанции, в том числе автоматические, на базе специализированного контроллера или ПК.
- ЦСД.
- Центра коммутации сообщений (ЦКС).
- Центра ЕСИМО.

Аппаратно-программный комплекс центра ЕСИМО (информационный центр) взаимодействует с удаленными стационарными узлами через микропроцессорный пакетный контроллер ВИП-М, работающий в режиме концентратора каналов связи.

Для проведения структурного анализа, оценки временных характеристик функциональных программных модулей и протоколов передачи данных, оптимизации маршрутов ретрансляции по каналам связи нужны модели АПК. В рассматриваемых прикладных задачах возможно использование графовых моделей. Например, взаимосвязь функциональных задач, возлагаемых на пакетные контроллеры и вычислительный комплекс, целесообразно представить в виде обобщенной граф-схемы (рис. 1).

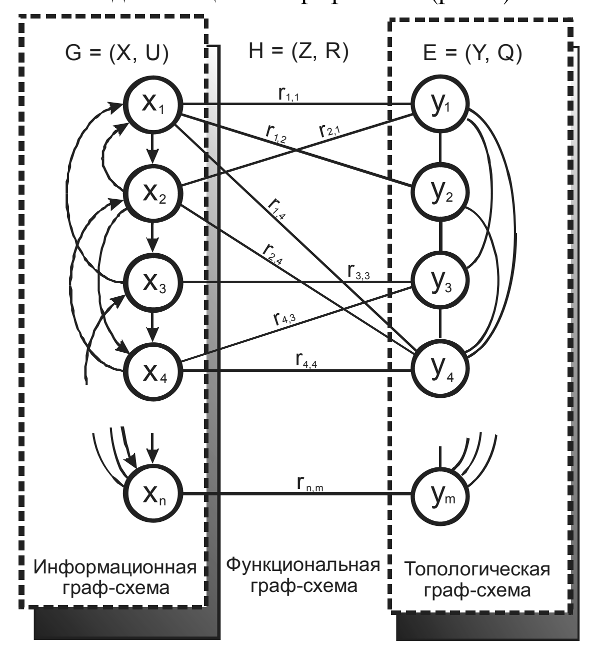


Рис. 1. Обобщенная граф-схема

В свою очередь, обобщенная граф-схема включает: информационную, функциональную и топологическую (ИГС, ФГС, ТПС) граф-схемы. В соответствии с предложенным описанием графа **H** удобно провести функциональную классификацию аппаратно-программных комплексов на основе семейства специализированных микропроцессорных терминалов в составе интегрированных информационно-телекоммуникационных систем с пакетной передачей данных.

Введем следующие определения.

Определение 1. Аппаратно-программные комплексы y_j, $j=1,m$ считаются функционально-эквивалентными, если каждому из них поставлены в соответствие все типы проблемно-ориентированных пакетов сообщений $\{x_1, x_2, ..., x_n\}$, $(n\geq 2)$.

Определение 2. Аппаратно-программный комплекс y_j, $j=1,m$ называется многофункциональным, если ему поставлены в соответствие два или более типов проблемно-ориентированных пакетов сообщений, доступных только с этого АПК.

Определение 3. Совокупность двух и более аппаратно-программных комплексов называется однофункциональной, если ей поставлен в соответствие один тип проблемно-ориентированного пакета сообщений x_i, $i=1,n$, доступный только для этого АПК.

Определение 4. Аппаратно-программный комплекс y_j, $j=1,m$ называется функционально-специализированным, если ему представлен в соответствие только один тип проблемно-ориентированного пакета сообщений x_i, $i=1,n$, доступный только для этого АПК.

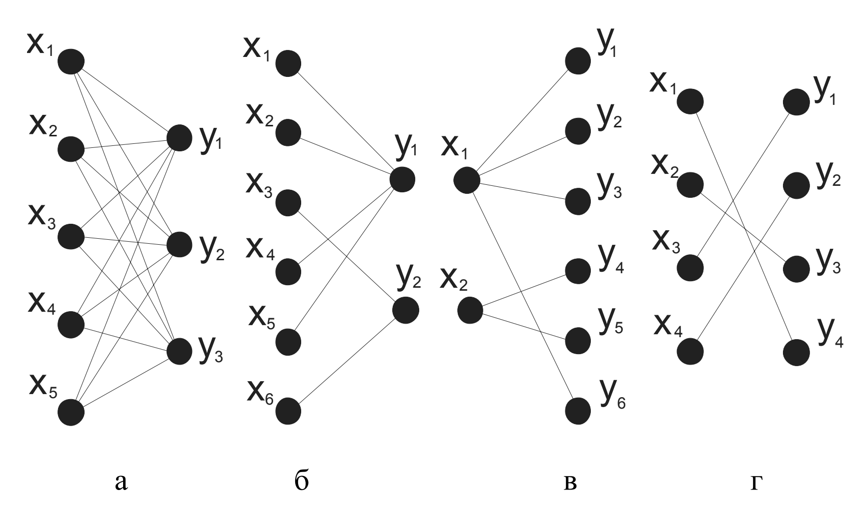


Рис. 2. *Граф-схемы взаимосвязи проблемно-ориентированных пакетов сообщений и АПК*

На рис. 2 приведены примеры:

а) функционально-эквивалентных аппаратно-программных комплексов (ФЭК);

б) многофункциональных аппаратно-программных комплексов (МФК);

в) однофункциональных аппаратно-программных комплексов (ОФК);

г) функционально-специализированных аппаратно-программных комплексов (ФСК).

На практике часто встречаются случаи, когда при проектировании распределенной системы необходимо предусмотреть наличие АПК сразу нескольких типов: ФЭК, МФК, ОФК или ФСК. При этом всегда можно выделить некоторые подмножества пакетов сообщений и АПК, взаимосвязь которых соответствует каждому из вышеприведенных определений.

Исходя из определений 1–4, можно сделать несколько утверждений, устанавливающих зависимость между АПК типа ФЭК, МФК, ОФК или ФСК. Обозначим через S_i^x, $i=1,n$ и S_j^y, $j=1,m$ степени вершин подмножеств X и Y, соответственно.

Утверждение 1. Структура связей двудольного графа $H=(Z,R)$ соответствует случаю ФЭК, если выполняется одно из равнозначных условий: $S_1^x=S_2^x=S_n^x=m$ либо $S_1^y=S_2^y=S_m^y=n$.

Справедливость Утверждения 1 очевидна. Равенство степеней вершин множества X двудольного графа $H=(Z,R)$, $Z=X\cup Y$ обеспечивает необходимое условие функциональной эквивалентности АПК, а равенство степени каждой вершины S_i^x, $i=1,n$ числу вершин множества Y является достаточным условием существования структуры связей ФЭК, т. к. предполагает обязательное наличие ребер r_{ij}, $i=1,n$, $j=1,m$ между i-ой вершиной множества X и каждой вершиной множества X. Для степеней вершин множества Y рассуждения аналогичны.

Следствие 1. Для вершины граф-схемы ФЭК справедливо выражение: $\sum_{i=1}^{n} S_i^x=\sum_{J=1}^{m} S_j^y=n*m$; причем, произведение определяет максимально возможное число ребер.

Следствие 2. Исключение из граф-схемы ФЭК одной или нескольких вершин и соответствующих им ребер (так, чтобы множества X и Y содержали не менее, чем по две вершины) приводит к образованию новой граф-схемы, также представляющей ФЭК.

Действительно, исключение из рассмотрения R вершин, например, множество Y приводит к уменьшению на число l степени каждой из вершин множества X, при этом имеем $S_1^x-l=S_2^x-l=...=S_n^x-l=m-l$, т. е. условие, содержащиеся в определении ФЭК, соблюдается.

Утверждение 2. Двудольный граф $H=(Z,R)$, $Z=X\cup Y$, представляющий собой МФК, имеет число компонент связности $æ=m$, а граф-схема, представляющая собой ОФК, – $æ=n$.

Отметим, что в граф-схеме МФК между вершинами множеств X и Y выполняется соотношение $n\geq 2m$, а в граф-схеме ОФК – $n\leq m/2$.

Следствие 3. Для каждой компоненты связности граф-схемы МФК справедливо выражение $[S_i^x=1]\&[S^y=n]$, $i=1,n$.

Следствие 4. Для каждой компоненты связности граф-схемы ОФК справедливо выражение $[S_j^y=1]\&[S^x=m]$, $i=1,m$.

Утверждение 3. Структура связей двудольного графа $H=(Z,R)$ соответствует случаю ФСК, если совпадает число вершин в множествах X и Y и выполняется одно из равнозначных условий $S_i^x=1$, $i=1,n$ либо $S_j^y=1$, $j=1,m$.

Приведенные утверждения и следствия являются основными формальными правилами, с помощью которых можно будет осуществить структурный анализ связей аппаратно-программных комплексов и проблемно-ориентированных пакетов сообщений.

Как отмечалось ранее, граф-схемы ИГС $G=(X,U)$ и ТГС $E=(Y,Q)$, а также граф-схема ФГС $H=(Z,R)$ являются подграфами графа общего вида $L=(Z,P)$. Такое представление позволяет, с одной стороны, отобразить характер информационных связей проблемно-ориентированных пакетов сообщений, особенности топологии сети связи, функ-

циональную ориентацию АПК, а с другой стороны, показать взаимосвязь отдельных структурных компонентов интегрированных информационно-телекоммуникационных систем с пакетной передачей данных между собой. Для удобства математической постановки и решения оптимизационных задач, связанных с построением функциональной структуры сети передачи и обработки информации, целесообразно задать все структурные компоненты графа $L=(Z,P)$ (граф-схемы $G=(X,U)$, $E=(Y,Q)$ и $H=(Z,R)$) с помощью одной матрицы смежности вершин. При этом применяется сквозная нумерация вершин множеств X и Y. Рассмотрим на примере процесс формирования матрицы смежности вершин графа $L=(Z,P)$. Пусть этот граф имеет вид, приведенный на рис. 3. Перенумерацию вершин будем производить по следующему правилу: вершины множества X сохраняют свои номера, а вершины множества Y номеруются с $(n+1)$ по $(n+m)$.

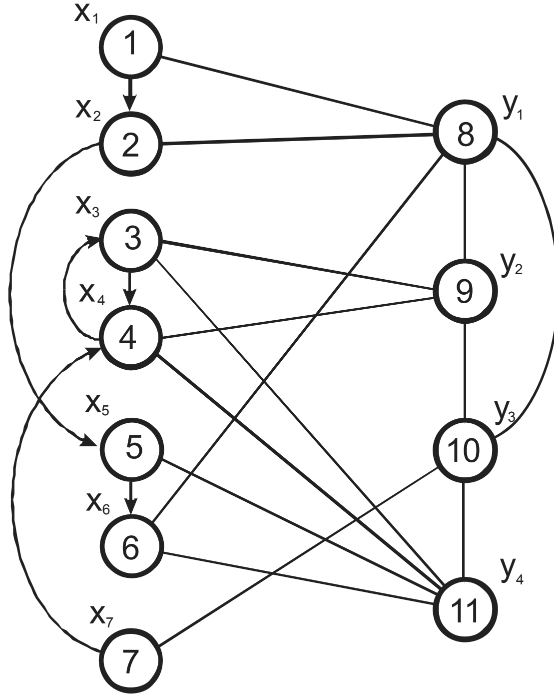
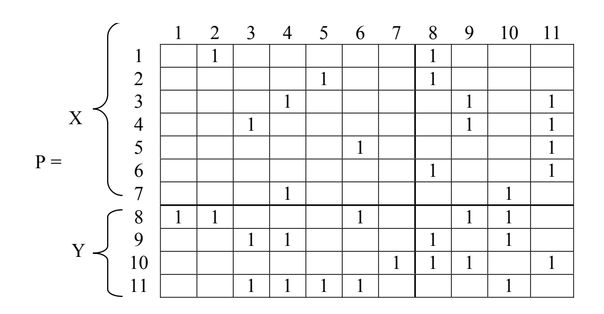


Рис. 3. *Граф смежности*

Составим матрицу смежности вершин $P=\|p_{i,j}\|$, $i=1,11$, $j=1,11$ по правилу: $p_{i,j}=1$, если i-ая и j-ая вершины соединены ребром или если дуга исходит из i-ой вершины и входит в j-ую; $p_{i,j}=0$, в противном случае.

В матрице Р можно выделить три области: первая представляет собой квадратную матрицу P_1, образованную элементами $p_{i,j}$, $i=1,7$, $j=1,7$, и описывают граф-схему $G=(X,U)$; вторая – квадратную матрицу $P_2=\|p_{i,j}\|$, $i=8,11$, $j=8,11$, описывающую граф-схему $E=(Y,Q)$, и, наконец, третья область – это две прямоугольные матрицы $P_3'=\|pi.j\|$, $i=8,11$, $j=1,7$ и $P_3''=\|p_{i,j}\|$, $i=1,7$, $j=8,11$, задающие функциональную граф-схему $H=(Z,R)$. Аналогичным образом можно задать весовые характеристики ребер графа $L=(Z,P)$.



P =

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	1		1						1			
	2					1			1			
	3				1					1		1
	4			1						1		1
	5						1					1
	6								1			1
	7				1						1	
Y	8	1	1				1			1	1	
	9			1	1				1		1	
	10							1	1	1		1
	11			1	1	1	1				1	

3. Технология сбора данных и ввода в систему телесвязи Росгидромета

Структурный анализ, оценка временных характеристик функциональных программных модулей и протоколов передачи данных, оптимизация маршрутов ретрансляции по каналам связи позволяют перейти к формулированию принципов сквозной технологии сбора данных от обслуживаемых и автоматических платформ сбора данных наземного и морского базирования и доведения ее до центров ЕСИМО. В основе технологии лежит предложенная декомпозиция системы на технологически независимые компоненты, связь между которыми происходит по заранее утвержденным протоколам.

Сквозная технология взаимодействия звеньев системы представлена на рис. 4.

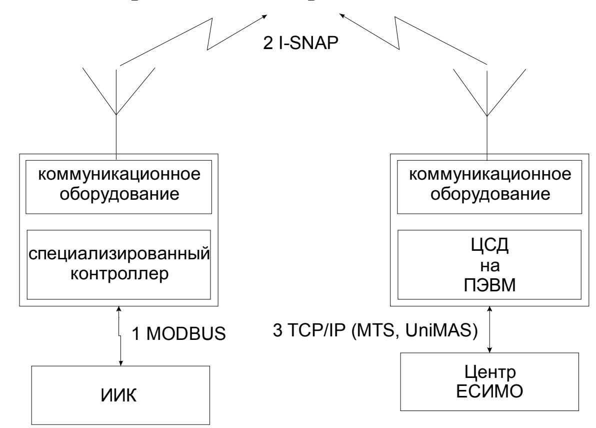


Рис. 4. *Структура системы сбора данных*

Протоколы передачи данных

Анализ принципов построения распределенных информационно-телекоммуникационных систем [5] показывает, что протоколы обмена данными с любым абонентом системы сбора гидрометеорологической информации должны обеспечивать следующие функции:

- производить проверку на достоверность полученных данных (контрольная сумма);
- гарантировать доставку данных до места назначения (использование подтверждений различного уровня);
- идентифицировать передаваемые данные на различных уровнях (общесистемный, на уровне одной сессии передачи данных), как следствие пункта 2;

- описывать передаваемые данные (длина данных, типы данных и т. п.);
- определять процедуры обмена данными.

Можно выделить три основных протокола для взаимодействия аппаратно-программных компонент системы сбора данных с наблюдательной сети. Первый протокол обеспечивает взаимодействие специализированного контроллера и автоматических измерительных комплексов на основе международного протокола MODBUS [6]. Протокол MODBUS регламентирует порядок и спецификацию команд обмена по последовательному интерфейсу. Контроллеры могут быть соединены напрямую или через модем.

Контроллеры соединяются, используя технологию «главный-подчиненный», при котором только одно устройство (главный) может инициировать передачу (сделать запрос). Другие устройства (подчиненные) передают запрашиваемые главным устройством данные или производят запрашиваемые действия.

Второй протокол управляет обменом данными по каналам связи между автоматическими измерительными комплексами и ЦСД. Проведенные исследования и накопленный практический опыт передачи данных по различным каналам связи выявили целесообразность и удобство использования в качестве транспортного протокола передачи данных между автоматическими измерительными комплексами и ЦСД – протокол I-SNAP.

Для управления сессией передачи данных предлагается канальный протокол передачи данных, включающий процедуры установки и поддержания связи между ведущим и ведомым устройствами (контроль состояния сервиса сети, набор номера, контроль вызова, контроль соединения).

Предлагаемый протокол обмена базируется на стандартном пакетном протоколе I-SNAP и поддерживает некоторое подмножество из всех возможных вариантов реализации. Стандартный протокол не регламентирует жестко некоторые поля пакета и обладает свойством допустимого введения «пользовательского» определения некоторых параметров. Определение этих полей осуществлено в протоколе без нарушения строения базового протокола.

И, наконец, третий протокол позволяет осуществлять обмен метеосообщениями в сети TCP/IP с центрами телесвязи (MTS, UniMAS). Протокол предназначен для обмена метеорологическими сообщениями в локальной и географической сети TCP/IP между двумя системами MTS, UniMAS, системой MTS и комплексом ЛАССО, а также может быть использован для связи MTS, UniMAS и других систем обработки метеорологических данных, при условии наличия соответствующего системного и прикладного программного обеспечения. Протокол разработан также для обеспечения возможности приема-передачи бинарных данных, таких как GRIB или факсимильные карты.

4. Назначение компонент сквозной технологии сбора данных

Сквозная технология основывается на предположении, что ИИК является источником данных, а ЦКС – является конечным получателям данных. Обмен данными может происходить в двух направлениях. В соответствии с предложенной технологией интеграции компонентов многоуровневых систем с пакетной передачей данных можно определить следующую функциональность для ее компонент:

- получение информации с датчиков;
- первичная обработка и накопление данных о состоянии окружающей среды;
- поддержка протокола MODBUS для обмена информацией со специализированным контроллером (только для обслуживаемых ИИК на станциях с персоналом наблюдателей);
- управление каналообразующей аппаратурой и поддержка канального протокола данных (только для автоматических ИИК).

Предлагается выделить следующие компоненты сквозной технологии сбора данных:

А) Обслуживаемые АПК гидрометеостанций (на базе ПЭВМ или специализированного контроллера) с персоналом наблюдателей.

Особенностью автоматизированных гидрометеостанций является то, что в процессе сбора информации активно участвует человек. Обычно сотрудники гидрометеостанции управляют процессом сбора, обработки и передачи информации. Структура АПК приведена на рис. 5 и 6.

Аппаратно-программный комплекс гидрометеостанции (на базе ПК, на базе специализированного контроллера) должен поддерживать следующие функции:

- обмен информацией с ИИК по протоколу MODBUS;
- получение и обработка данных о состоянии окружающей среды от ИИК;
- отображение полученной от ИИК информации о состоянии окружающей среды;
- передача управляющей информации на ИИК;
- первичный контроль качества информации;
- формирование оперативных данных, предназначенных для передачи в ЦСД в установленные сроки в утвержденных кодах и форматах;
- формирование штормовых телеграмм;
- передача информации на ЦСД;
- формирование данных в ответ на запрос ЦСД;
- подготовку и контроль, редактирование, хранение, прием и передачу сообщений в форматах ВМО, ГМС, ЩЭГАО;
- прием/передачу служебных телеграмм;
- передачу, при необходимости, на ИИК сигналов синхронизации точного времени в сети, а также

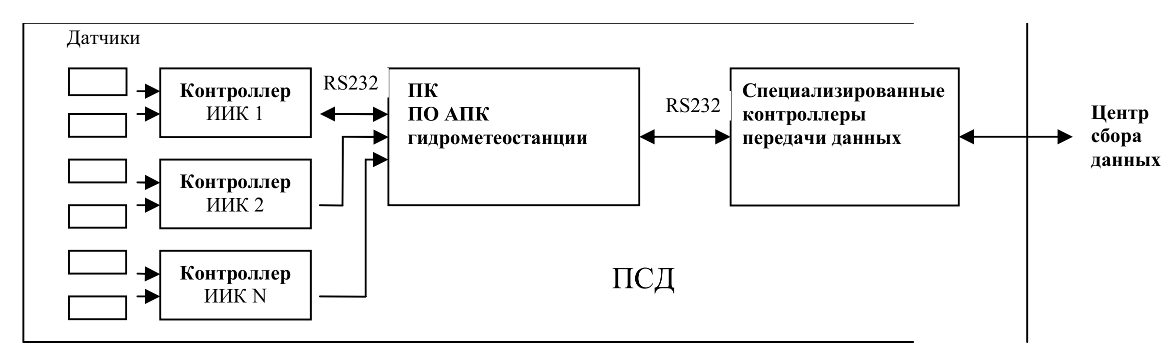


Рис. 5. *Структура АПК гидрометеостанции на базе ПК*

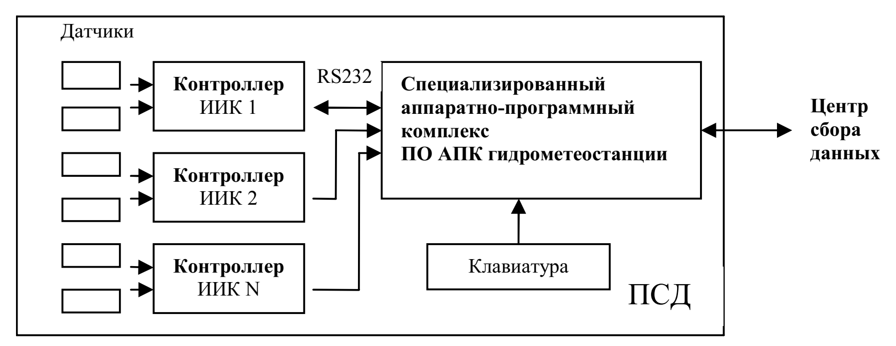


Рис. 6. *Структура АПК гидрометеостанции на базе специализированного контроллера*

ретрансляцию на ИИК команд управления в установленном формате, поступивших от ЦСД;

- управление каналообразующей аппаратурой;
- поддержку канального протокола данных обмена информацией с ЦКС.

Б) Автономные аппаратно-программные комплексы гидрометеостанции.

При отсутствии сетевого электропитания и жестких требованиях к потреблению энергии контроллер ИИК должен обеспечивать:

- прием и обработку данных о параметрах среды получаемых от датчиков;
- формирование данных, предназначенных для последующей передачи в ЦСД, согласно утвержденного протокола об обмене и формате данных, передаваемых от автоматических измерительных комплексов;
- управление каналообразующей аппаратурой;
- поддержку протокола взаимодействия с ЦСД (I-SNAP);
- в установленные сроки самостоятельно установку соединения с ЦСД;
- передачу на ЦСД сформированных оперативных данных.

Взаимодействие АПК с ЦСД (рис. 7) по сети сотовой связи стандарта GSM, спутниковой связи «Глобалстар» целесообразно обеспечивать в целях унификации обмена с другими источниками информации на основе спецификации протокола I-SNAP. Опрос ПСД центром сбора данных производится по расписанию или вручную в произвольный момент времени. Перекодировка данных и их преобразование в сообщения соответствующего формата для передачи в систему телесвязи Росгидромета осуществляются на ЦСД.

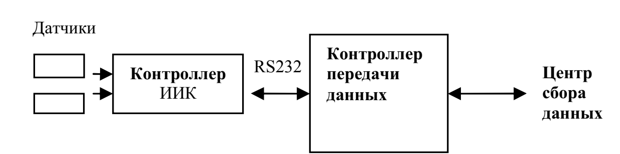


Рис. 7. *Структура автономного АПК гидрометеостанции*

В) Аппаратно-программный комплекс ЦСД.

Аппаратно-программный комплекс ЦСД должен обеспечивать:

- управление каналообразующей аппаратурой;
- поддержка канальных протоколов передачи данных;
- поддержка обмена информацией по различным каналам связи, в том числе телефонным, телеграфным, радиоканалам, сотовым и спутниковым;
- поддержка обмена со всеми типами АПК гидрометеостанций;
- прием и документирования принятой информации;
- контроль информации;
- перекодировку данных и их преобразование в сообщения соответствующего формата, согласно таблице форматов ИИК;
- работу системы сбора по заложенному расписанию с поддержкой обмена по основному и резервному каналам связи;
- обмен информацией с ЦКС.

5. Заключение

В данной работе предложена новая сквозная технология построения многоуровневых систем с пакетной передачей данных, основанных на микропроцессорном контроллере ВИП-М. Проанализированы важнейшие свойства предложенной технологии, представляющие наибольший интерес с точки зрения его практического использования, отображен характер информационных связей проблемно-ориентированных пакетов сообщений, особенности топологии сети связи, функциональная ориентация АПК, а с другой стороны, показана взаимосвязь отдельных структурных компонентов интегрированных информационно-телекоммуникационных систем с пакетной передачей данных между собой.

В основе технологии лежит предложенная декомпозиция системы на технологически независимые компоненты, связь между которыми происходит по заранее утвержденным протоколам. Можно выделить три основных протокола для взаимодействия аппаратно-программных компонент системы сбора данных с наблюдательной сети. Первый протокол обеспечивает взаимодействие специализированного контроллера и автоматических измерительных комплексов на основе международного протокола MODBUS. Второй протокол управляет обменом данными по каналам связи между автоматическими измерительными комплексами и ЦСД. И, наконец, третий протокол позволяет осуществлять обмен метеосообщениями в сети TCP/IP с центрами телесвязи (MTS, UniMAS).

В соответствии с предложенной технологией интеграции компонентов многоуровневых систем с пакетной передачей данных можно выделить следующие компоненты сквозной технологии сбора данных: обслуживаемые аппаратно-программные комплексы гидрометеостанций с персоналом наблюдателей; автономные аппаратно-программные комплексы гидрометеостанции; аппаратно-программный комплекс ЦСД.

Таким образом, в ходе создания технологии производства наблюдений и доставки данных о морской сети до центров ЕСИМО разработан и согласован стандарт информационно-технологического сопряжения автономных измерительных комплексов с современными сетями сбора и передачи, разработано программное обеспечение компонент технологии, а именно аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего передачу информации о морской среде от автоматической морской станции и автоматической метеостанции в Центры ЕСИМО по системе спутниковой связи «Глобалстар» и сотовой связи на основе стандартов информационно-технологического сопряжения автономных измерительных комплексов с современными сетями сбора и передачи.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 05-07-98006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сонькин М.А. Способ формализованного представления структуры системы передачи информации по радиоканалу // Математическое и программное обеспечение САПР. – Научно-техн. сб. – Вып. 1. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – С. 224–231.
2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
3. Сонькин М.А., Слядников Е.Е. Архитектура и общая технология функционирования территориально распределенных аппаратно-программных комплексов с пакетной передачей данных // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 5. – С. 161–166.
4. Багдасарова Е.П. Применение современных технологий сбора данных с наблюдательной сети // Метеоспектроскопия. – 2005. – № 2. – С. 89–93.
5. Сонькин М.А. Принципы построения интегрированных информационно-телекоммуникационных систем оперативного назначения // Вычислительные технологии. – 2003. – Т. 8. – Специальный выпуск. – С. 148–156.
6. Anderson B.D., Bose N.K. Output feedback stabilization and related problems – solution via decision methods // IEEE Trans. on Automatic Control. – 1975. – V. AC-20 (1). – P. 53–56.

УДК 791.44.025:004.021